

HISTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DEN PARAVERTEBRALEN GANGLIEN VON *RANA RIDIBUNDA*

Von

I. HORVÁTH

Institut für allgemeine Zoologie und Biologie der Universität Szeged, Ungarn

(Dir.: Prof. Dr. A. ÁBRAHÁM)

Mit dem Studium des sympathischen Nervensystems der Frösche hat man sich in der letzten Zeit verhältnismässig wenig beschäftigt. Von den früheren Forschungen sind die anatomischen Untersuchungen auch heute noch brauchbar wertvoll (7), die feineren neurohistologischen Strukturen dagegen sind erst durch die neuesten neurohistologischen Methoden erkannt worden. Als ein Mangel ist zu erwähnen, dass vergleichende Untersuchungen innerhalb einer Art — im Bereich des *Truncus sympathicus* — nach den mir zugänglichen Literaturangaben — völlig vernachlässigt sind (6). Ich habe daher eingehende neurologische Untersuchungen zunächst lediglich an den Ganglien der beiderseitigen Grenzstränge innerhalb einer Art, parallel aber auch experimentelle Durchtrennungsversuche an den *Rami interganglionares* des sympathischen Stammes und den mit dem Rückenmark in Verbindung stehenden *Rami communicantes* angestellt. Die Ergebnisse der Nervendurchtrennungsversuche sollen an anderer Stelle ausführlich besprochen werden.

Material und Methoden

Nach der anatomischen Erkennung des Grenzstranges beim *Rana ridibunda* habe ich an einem etwa 15 cm langen Exemplar die beiderseitigen Ganglien in 10%igem neutralen Formalin fixiert. Bei den histologischen Untersuchungen bediente ich mich der Hämatoxylin-Eosin- und der HEIDENHAINschen Eisenhämatoxylinfärbung (9) und bei der Herstellung von Nervenpräparaten der Versilberungsverfahren von BIELSCHOWSKY-ÁBRAHÁM (1) und BIELSCHOWSKY-GROS (2).

Die Histologie des *Truncus sympathicus*

Der Grenzstrang besteht aus Ganglien, Nervenfasern und jenen feinen Endformationen, vermittels derer einzelne Nerven eine Verbindung mit den Ganglienzellen herstellen. Die Ganglien sind miteinander durch die *Rami interganglionares* verbunden, in denen neben Nervenfasern in mehr oder minder reicher Zahl auch Nervenzellen vorkommen.

Die Ganglien sind von einer dünneren oder dickeren Bindengewebetskapsel umgeben (*Epineurium*). Zwischen den längsverlaufenden kollagenen Binde-

gewebsfasern finden sich auch elastische Fasern und randständig — namentlich an der *Pars abdominalis* und *sacralis* — sind Fettzellen anzutreffen. In den Ganglien liegen die unipolaren Nervenzellen dicht beieinander und bilden eine einheitliche oder mehrere kleinere Gruppen. In der Bindegewebshülle und an der Oberfläche der Zellen kommen Chromatophoren in sämtlichen Ganglien vor. Die Nervenzellen sind $34\text{--}50\ \mu$ und die Zellkerne $10\text{--}13\ \mu$ gross. In 15–30% der Zellen werden im Kern zwei *Nukleoli* sichtbar, die als Entwicklungsresiduen zu betrachten sind, da bei den Kaulquappen die Nervenzellkerne stets zwei *Nukleoli* enthalten.

Die Paravertebralganglien lassen sich anatomisch folgendermassen aufteilen:

1. *Pars cephalica*
2. *Pars cervico-brachialis*
3. *Pars abdominalis*
4. *Pars sacro-coccygea*.

1. *Pars cephalica*

Der *Truncus sympathicus* beginnt mit einem dünnen, aus dem ventralen Teil des *Ggl. prooticum commune* hervorgehenden Nervenbündel, das in kaudaler Richtung an der Schädelbasis entlangzieht und die Schädelhöhle am *Fora-*

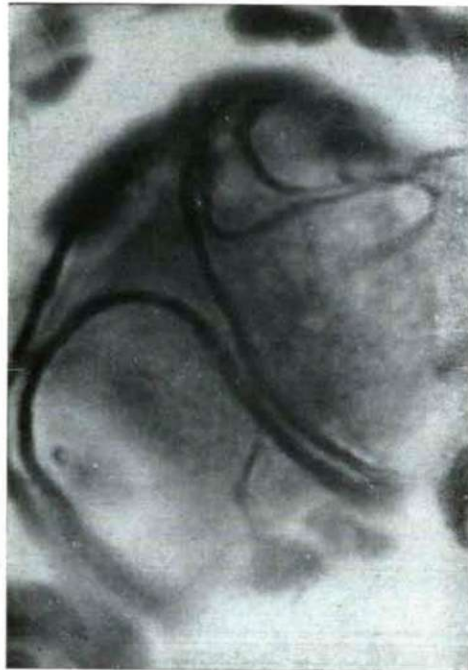


Abb. 1.: *Rana ridibunda*: Perizelluläre Synapse mit grossem Transmissionsfeld an einer unipolaren Nervenzelle des *Ggl. sympathicum V.* BIELSCHOWSKY—GROS'sches Verfahren. Mikrophotogramm. Vergr.: $1770\times$.

men jugulare verlässt, sich dann dem medialen Teil des Ggl. jugulare anschmiegt, um im Ggl. sympathicum II zu münden.

Die runden unipolaren Nervenzellen des Ggl. jugulare sind 45–50 μ gross, zwischen ihnen werden auch die marklosen Nervenfasern des Truncus sympathicus sichtbar. Dicke, markhaltige, vom Rückenmark stammende Fasern aber werden vermisst.

2. Pars cervico-brachialis

Die Pars cervico-brachialis besteht aus drei kaudal vom Ggl. jugulare gelegenen Ganglien. Eigentlich ist das erste Ganglion des Truncus sympathicus das Ggl. sympathicum II, seu Ggl. subclavium anterius (ANDERSSON). Bei den



Abb. 2.: *Rana ridibunda*: Spiralgewundene und in einem Kölbchen endigende dicke Nerven-faser-Synapse an der Oberfläche einer Nervenzelle des Ggl. sympathicum IX. BIELSCHOWSKY—ABRAHÄM'sches Verfahren. Mikrophotogramm. Vergr.: 2110 \times .

Fröschen ist nämlich nach den Untersuchungen von ANDERSSON das Ggl. sympathicum I mit dem Nervus spinale I im Laufe der Phylogenese verschwunden, während er ihre Anwesenheit bei den Urodelen nachweisen konnte. Das Ggl. sympathicum II liegt am ventralen Abschnitt des Nervus spinale II nahe des Kalksackes, somit ist der das Rückenmark und den Truncus verbindende Ramus communicans ganz kurz. Zwischen den markhaltigen Fasern des Ramus communicans waren in geringer Zahl auch marklose Fasern zu verzeichnen. Die unipolaren Ganglienzellen des Ggl. sympathicum II sind rund, 30–40 μ

gross und oft mit je zwei *Nukleoli* versehen. Die den einzigen Fortsatz der Nervenzellen umgebende dicke, spiralgewundene Nervenfasern ist nur bei einer geringen Zahl von Nervenzellen anzutreffen.

Das *Ggl. sympathicum* III (*Ggl. subclavium posterius*) liegt dem ventralen Teil der Anfangsstrecke des *Nervus spinale* III fest auf, so dass der *Ramus communicans* auch hier sehr kurz ausfällt. Er enthält ausser den markhaltigen Rückenmarksfasern auch marklose Faserelemente.

Die sympathischen Ganglienzellen sind etwas grösser als die des vorigen Ganglions, aber von ähnlicher Gestalt. Die Zahl der mit Spiralfasern versehenen Nervenzellen ist ebenfalls noch gering zu nennen, nimmt aber in kaudaler Richtung allmählich zu.

Die Stelle des *Ggl. sympathicum* IV (*Ggl. cardiacum basale* GASKELL und GADOV) variiert stark; oft ist es in Anbetracht seiner Kleinheit selbst im Stereoskop mit starker Vergrösserung nur schwer auffindbar. Der das *Ggl. sympathicum* IV und den *Nervus spinale* IV miteinander verbindende *Ramus communicans* enthält ausser wenigen marklosen Fasern auch eine grössere Anzahl markhaltiger Fasern.

3. *Pars abdominalis*

Vom *Ggl. sympathicum* IV wendet sich der *Truncus sympathicus* medialwärts, um dann entlang des Aortenbogens in kaudaler Richtung zu ziehen. Dieser Strecke gehören die *Ggl. sympath.* V, VI und VII an.



Abb. 3.: *Rana ridibunda*: Endkölbchen-Synapse am Rande der einen Nervenzelle des *Ggl. sympathicum* IX. BIELSCHOWSKY—GROS'sches Verfahren. Mikrophotogramm. Vergr.: 2250 \times .

Das Ggl. *sympathicum* V ist überaus klein und nimmt gewöhnlich an der Grenze des 5. und 6. Wirbels Platz. Mit dem Ggl. *sympathicum* IV ist es durch einen langen, aber dünnen (dem längsten aller *Rami*) *Ramus interganglionaris* verbunden.

Das Ggl. *sympathicum* V. liegt in Höhe des 6. Wirbels vor der Vereinigung der beiderseitigen Aortenbögen. Der das Ggl. *sympathicum* VI und den *Nervus spinale* VI verbindende *Ramus communicans* mündet bereits weiter entfernt von seinem Austritt aus der Wirbelsäule in den Rückenmarksnerven ein als die bisherigen.

Das Ggl. *sympathicum* VII breitet sich in Höhe des 7. und 8. Wirbels aus, es wird mit dem *Nervus spinale* VII gewöhnlich durch einen, nicht selten aber auch durch zwei *Rami communicantes* verbunden.

In den letzteren drei *Rami communicantes* und Ganglien kommen markhaltige Fasern in grosser Zahl zur Beobachtung, besonders in den *Rami* zwischen den mit den Ggl. *sympath.* VI–VII in Verbindung stehenden *Nervus spinale* VI und VII, die mit 3–4 Stämmen in die Ganglien eintreten.

Aus diesen Ganglien geht der *Nervus splanchnicus* hervor. Nach meinen Untersuchungen tritt er meistens nur aus dem Ggl. *sympathicum* VI heraus. Zuweilen entspringt auch dem Ggl. *sympathicum* V ein Stamm, der sich dann mit dem aus dem Ggl. *sympathicum* V kommenden vereint. Seltener kommt es vor, dass je ein Bündel aus dem Ggl. *sympathicum* VI und dem Ggl. *sympathicum* VII zusammentreten und gemeinsam den *Nervus splanchnicus* bilden. Dass von allen drei Ganglien je ein Bündel ausgeht — wie es GAUPP darstellt — habe ich in keinem einzigen Falle beobachtet. In dem Nervenbündel des *N. splanchnicus*, das entlang der *Arteria intestinalis communis* in das Ggl. *coeliacum* eintritt, kommen neben den marklosen postganglionären Fasern auch aus dem Rückenmark entspringende, markhaltige präganglionäre Fasern vor.

4. *Pars sacro-coccygea*

Nach der Determination von GAUPP gehört jener Teil des *Truncus sympathicus* hierher, dessen Ganglien mit dem *Plexus lumbo-sacralis*, bzw. mit dem *Nervus coccygeus* zusammenhängen. Dieser Teil des Grenzstranges zieht eng an der *Aorta abdominalis* zu beiden Seiten derselben. Anatomisch sind die meisten Variationen an dieser Strecke zu finden (von einer ausführlichen Beschreibung der anatomischen Abweichungen will ich hier Abstand nehmen). Häufig fehlt das Ggl. *sympathicum* XI und dann hört der Grenzstrang mit dem aus dem Ggl. *sympathicum* X heraustretenden *Ramus communicans* auf, welcher entweder dem *Nervus spinale* X, oder aber dem *Nervus spinale* XI zustrebt.

Zu dieser letzten Strecke des Grenzstranges gehören die Ggl. *sympath.* VII, IX, X bzw. XI. In diesen Ganglien sind die Zellen bereits etwas grösser als in den bisher erörterten. An dem einzigen Fortsatz der Zelle ist fast ausnahmslos die spiralgewundene marklose Nervenfasern anzutreffen. Zwischen den Ganglienzellen und in den *Rami communicantes* — eine Ausnahme bildet vielleicht noch das Ggl. *sympathicum* VIII — sind marklose Fasern gar nicht oder nur höchst vereinzelt anzutreffen, während diejenigen *Rami communicantes*, welche die Ganglien II–VIII des *Truncus sympathicus* mit den entsprechenden Spinalnervenbündeln verbinden, markhaltige und marklose Fasern

gemischt enthalten. Demzufolge ist die Trennung der beiden Faserkategorien in rein sympathische und rein spinale Fasern, bzw. deren gesonderte Bezeichnung als *Rami communicantes grisei* und *Rami communicantes albi (obliqui)*



Abb. 4.: *Rana ridibunda*: Gewundene, dünne Nervenfasern-Synapse zwischen den Nervenzellen des Ggl. sympathicum V. BIELSCHOWSKY—ABRAHAM'sches Verfahren. Mikrophotogramm. Vergr.: 2100 \times .

beim Frosch noch nicht anwendbar, obwohl die Ggl. sympath. VI, VII, IX und X stets aus mehreren *Rami communicantes* bestehen. Quantität und Qualität der Fasern in den einzelnen *Rami communicantes* weisen hinsichtlich der Verlaufsrichtung die folgenden Unterschiede auf. In Übereinstimmung mit den Untersuchungen von BIDDER und VOLKMANN habe ich die Fasern der *Rami communicantes* IV, VI und VII in gleicher Menge zentral- und peripherwärts ziehend gefunden. Der *Ramus communicans* V sendet unverhältnismässig mehr Fasern zentralwärts und VIII in Richtung der Peripherie. Die hinteren *Rami communicantes* gehen fast vollkommen in den peripheren Verlauf der spinalen Nervenstämme über.

Die Stuktur der Synapsen

In den Ganglien des *Truncus sympathicus* von *Rana ridibunda* gestalten sich die auf und zwischen den Nervenzellen befindlichen, von KIRSCH in Synapsen mit kleinem und grossem Transmissionsfelde eingeteilten Formationen der Reizübertragung überaus wechselvoll (8). Am häufigsten begegnen wir hier

den als Synapsen mit grossem Transmissionsfelde zu betrachtenden, um den einzigen Fortsatz der Ganglienzelle gewundenen spiralen Nervenfasern. Die Mehrzahl der spiralgewundenen Nervenfasern formt auf dem Zellkörper ein äusserst feines, perizelluläres Geflecht (Abb. 1) und die dickeren — oft knäuelbildend — endigen nicht selten in Gestalt kleinerer oder grösserer Endkölbchen an der Zelloberfläche (Abb. 2 und 3). Sehr häufig sind auch Endigungen, deren Faser ein sehr feines Knäuel bildet und die an der Oberfläche der Zellen bzw. zwischen den Spiralfasern enthaltenden Nervenzellen aufhören (Abb. 4). Von den Synapsen mit kleinem Transmissionsfelde sind auch hypolemmal endigende Endringe auf den Nervenzellen häufig. Die spiralförmigen und die feine Terminalwindungen bildenden Nervenfasern sind kranial im Grenzstrang noch relativ selten, kommen aber von der *Pars abdominalis* an häufiger zur Beobachtung.

Auf Grund der aus verschiedenen geformten und verschiedenen dicken Fasern gebildeten Synapsen nehmen wir an, dass die Ganglienzellen ihre präganglionären Fasern von physiologisch verschiedenen Stellen bekommen (3). Die spiralen Fasern, welche den Fortsatz der Ganglienzellen umwinden, gehören nach NICOLAJEV (4, 5) Untersuchungen am Froschherzen den Vagusfasern an. SMIRNOW (10), COURVOISIER, BEAL und ARNOLD (1863) betrachten die Spiralfasern im Herzmuskel als einen organischen Bestandteil der Nervenzellen, die dem perizellulären Geflecht der Zelle entspringen und als Verbindungselemente zwischen zwei oder auch mehreren Zellen fungieren. Betreffs der Frage, welcher der Fortsätze der mit Spiralfasern versehenen Nervenzellen zentral- und welcher peripherwärts zieht, ist eine entschiedene Meinung noch nicht entwickelt worden. Auf Grund unserer Ergebnisse nach Durchtrennung der *Rami communicantes* vertreten wir neuerdings die Ansicht, dass jene Spiralen, die in den Ganglien des *Truncus sympathicus* degenerieren, von den vegetativen Fasern des *Nervus spinale*-Stammes gebildet werden, d. h. vom Rückenmark stammen, während die nicht degenerierenden nichts anderes sind, als zwischen zwei oder mehreren sympathischen Zellen befindliche synaptische Fasern. Eine Antwort auf die Frage nach den Herkunft der auf den Ganglienzellen des *Truncus sympathicus* befindlichen und interzellulären Synapsen, sowie auf die Frage, ob sie efferente oder teils afferente Funktionen erfüllen, dürfte von meinen weiter oben erwähnten experimentellen Untersuchungen zu erwarten sein.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse meiner an den paravertebralen Ganglien von *Rana ridibunda* durchgeführten Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

1. Die Ganglien des *Truncus sympathicus* und die *Rami interganglionares* sind durch ein aus kollagenen und elastischen Fasern bestehendes Bindegewebe begrenzt. Im Inneren der Ganglien konnten Bindegewebssepten nicht nachgewiesen werden.

2. Die unipolaren Zellen der Ganglien sind in der *Pars cervico-brachialis* kleiner als in den kaudal davon gelegenen Grenzsträngen.

3. Die Nervenzellen liegen in den Ganglien eng aneinandergeschmiegt, kommen in den *Rami interganglionares* aber auch verstreut vor.

4. Von den interneuronalen Synapsen haben wir aus dicken varikösen und dünnen glattrandigen Fasern gebildete perizelluläre und an der Oberfläche der

Zellen bzw. zwischen den Zellen liegende, keulenförmig endigende, lockere Knäuelformationen und Endringe gesichtet.

5. Ein Teil der Fasern der Synapsen stammt unseres Erachtens aus dem Rückenmark. Die Frage, welche der typischen Nervenendigungen efferente bzw. afferente Funktionen erfüllen, soll an Hand von Nervendurchtrennungsuntersuchungen zu beantworten versucht werden.

6. Die *Rami communicantes* sind beim Frosch noch nicht in besondere *Rami communicantes grisei* und *albi* trennbar.

7. Die als Verbindungsglieder zwischen den sympathischen Ganglien II—VII und den *Nervi spinales* II—VII fungierenden *Rami communicantes* enthalten sowohl markhaltige, als auch marklose Fasern, während die von den mehr kaudal gelegenen Ganglien ausgehenden *Rami communicantes* zum grössten Teil aus marklosen Fasern bestehen.

Schrifttum

1. ÁBRAHÁM, A.: The comparativ histology of the stellate ganglion. Acta Biol. Acad. Sci. Hung. 2. p. 311. Budapest, 1951.
2. ÁBRAHÁM, A.: Az aortaideg szerkezete és végződésformái a kutya artériás törzseiben. Ann. Biol. Univ. Hung. Pars Szegediensis 1. p. 325. 1952.
3. ÁBRAHÁM, A.: Die mikroskopische Innervation des Herzens der Amphibien. Acta Biol. Univ. Szeged, 7. p. 45. 1961.
4. DOGIEL, J.: Die Nervenzellen und Nerven des Herzventrikels beim Frosche. Archiv. Mikr. Anat. 21. p. 21. 1882.
5. DOGIEL, J.: Einige Daten der Anatomie des Frosch- und Schildkrötenherzens. Archiv. Mikr. Anat. 70. p. 780. 1907.
6. GÁL, D.: Adatok a békák vegetatív idegrendszerének ismeretéhez. Biológiai Közlemények. 7. p. 143. 1959. (Kivonat)
7. GAUPP, E.: Anatomie des Frosches. 2. Braunschweig, Friedrich Vieweg. 1899.
8. KIRSCH, W.: Synaptische Formation im Ganglion stellare des Menschen. Zeitschr. f. mikr.-anat. Forschung. 60. p. 399. 1954.
9. KISZELY, Gy.; BARKA, T.: Gyakorlati mikrotechnika és hisztokémia. Medicina, Budapest, 1958.
10. SMIRNOW, A.: Die Struktur der Nervenzellen im Sympathicus der Amphibien. Archiv. Mikr. Anat. 35. p. 407. 1890.